

Odlewy bimetalew z chromowo-nikelową warstwą roboczą

T. Wróbel^{a,*}, J. Szajnar^a, M. Cholewa^a, P. Wróbel^a, J. Suchoń^a, S. Tenerowicz^b

^a Katedra Odlewnictwa, Politechnika Śląska, ul. Towarowa 7, 44-100 Gliwice, Polska

^b Zakład Doświadczalno-Wdrożeniowy Odlewnictwa, ul. Mechaników 9, 44-109 Gliwice, Polska

*Kontakt korespondencyjny: e-mail: tomasz.wrobel@polsl.pl

Otrzymano 15.08.2012; zaakceptowano do druku 05.09.2012

Streszczenie

W prac przedstawiono technologię bimetalicznych odlewów warstwowych opartą na odlewniczej metodzie nakładania warstw bezpośrednio w procesie odlewania tzw. metodą preparowania wnętrza formy. Wykonane tą metodą bimetaliczne odlewy warstwowe złożone są z dwóch zasadniczych elementów tj. części nośnej oraz części (warstwy) roboczej. Część nośną bimetalicznego odlewu warstwowego stanowiło typowe tworzywo odlewnicze tj. staliwo niestopowe lub żeliwo szare z grafitem płatkowym, natomiast część roboczą stanowiła stal stopowa austenityczna gatunku X2CrNi 18-9 lub ferrytyczno-austenityczna gatunku X2CrNiMoN 22-5-3. Weryfikację wykonanych bimetalicznych odlewów warstwowych przeprowadzono w oparciu o nieniszczące badania ultradźwiękowe, badania struktury oraz mikrotwardości. Ponadto wykonano symulację komputerową procesu krzepnięcia bimetalicznych odlewów warstwowych w programie NovaFlow&Solid.

Słowa kluczowe: Bimetaliczny odlew warstwowy, Staliwo, Żeliwo, Stal, Chrom, Nikiel

1. Wprowadzenie

Technologia odlewów warstwowych znajduje zastosowanie wówczas gdy kryterium wysokich własności użytkowych dotyczy tylko roboczej warstwy wierzchniej odlewu, którego pozostała część pełni jedynie rolę elementu nośnego nie narażonego na bezpośrednie działanie czynników wywołujących np. zużycie korozyjne lub ścierne.

Podstawową technologią odlewów warstwowych jest tzw. metoda preparowania wnętrza formy, w której element uszlachetniający roboczą warstwę wierzchnią odlewu umieszcza się w formie, w postaci wkładki litej lub ziarnistej bezpośrednio przed zalaniem ciekłym metalem [1÷7]. Technologia ta jest najbardziej ekonomicznym sposobem uszlachetniania powierzchni odlewów, gdyż umożliwia wytwarzanie elementów warstwowych bezpośrednio w procesie ich odlewania. W związku z tym może stanowić istotną konkurencję dla powszechnie

stosowanych technologii napawania i natryskiwania cieplnego [8], gdyż oprócz zalet natury ekonomicznej w odróżnieniu od nich nie generuje ona możliwości powstawania pęknięć w strefie wpływu ciepła, która powstaje w rezultacie wykonywania powłoki metodą spawalniczą.

Idea proponowanej w pracy technologii bimetalicznych odlewów warstwowych została zaczerpnięta z istotnej dla przemysłu urobkowego metody wytwarzania stopowych warstw powierzchniowych na bazie wkładek ziarnistych ze stopu Fe-Cr-C [1, 3 i 4], Fe-Cr-C-Mo [2] oraz Ni-Cr-Fe-C [7] umieszczanych w formie bezpośrednio przed zalaniem ciekłym metalem. Uzyskane w ten sposób robocze warstwy wierzchnie charakteryzują się wysoką twardością i odpornością na zużycie ścierne głównie typu metal-minerał.

Ponadto w literaturze znajdują się dane dotyczące odlewów warstwowych wykonywanych na bazie wkładek litych np. ze stali niestopowej zalewanej ciekłym chromowym żelazem stopowym

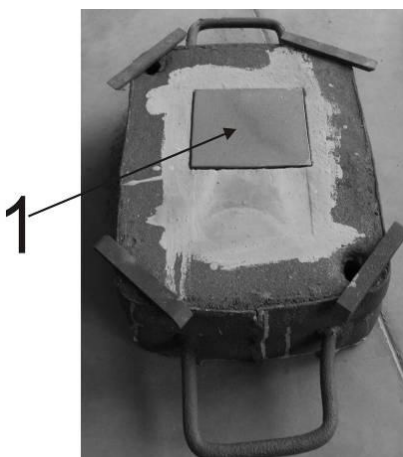
[5 i 6] lub z żeliwa szarego zanurzanego w ciekłym podeutektycznym stopie Al-Si [9÷11].

2. Zakres badań

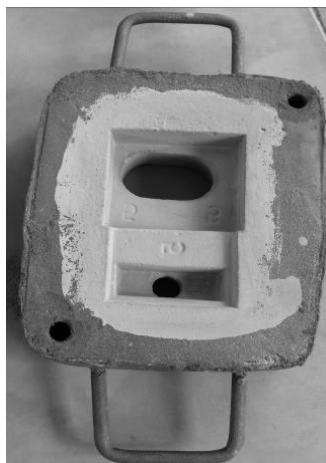
W ramach pracy wykonano bimetaliczne odlewy warstwowe, które złożone są z dwóch zasadniczych elementów tj. części nośnej oraz części (warstwy) roboczej. Część nośną odlewu warstwowego stanowiło typowe tworzywo odlewnicze tj. staliwo niestopowe lub żeliwo szare, natomiast część roboczą stanowiła blacha ze stali stopowej austenitycznej gatunku X2CrNi 18-9 lub ferrytyczno-austenitycznej gatunku X2CrNiMoN 22-5-3.

W celu wykonania próbných bimetalicznych odlewów warstwowych o wymiarach 125 x 105 x 45mm, w formach piaskowych umieszczano nie stosując zabiegu podgrzewania wstępnego blachy ze stali stopowych (Rys.1), które następnie zalano ciekłym staliwem niestopowym lub żelwem szarym z temperatury odpowiednio 1650 i 1450°C.

a)



b)



Rys. 1. Widok formy z umieszczoną w jej wnęce blachą ze stali austenitycznej (1): a – dolna połowka form, b – górna połowka formy

Temperaturę zalewania mierzono przy użyciu termopary Pt-PtRh10, natomiast skład chemiczny zastosowanych tworzyw określono przy użyciu spektrometru LECO GDS500A i analizatora LECO CS-125.

W oparciu o wyniki wcześniejszych badań [12 i 13] zastosowano blachy stalowe o grubości 5mm, których powierzchnie będące w bezpośrednim kontakcie z ciekłym metalem pokryto aktywatorem sprzyjającym powstawaniu trwałego połączenia pomiędzy oboma tworzywami odlewu warstwowego. Uzyskano tym sposobem stosunek grubości części nośnej do części roboczej 8:1 przy module krzepnięcia odlewu 11,45mm.

Jakość uzyskanych bimetalicznych odlewów warstwowych oceniano na podstawie nieniszczących badań ultradźwiękowych, wykonanych przy użyciu defektoskopu DIO 562 firmy STARMANS ELEKTRONICS. Następnie wykonano badania metalograficzne mikroskopowe przy użyciu zarówno mikroskopu świetlnego Nikon jak i elektronowego skaningowego Inspekt F. Ponadto wykonano pomiary mikrotwardości przy zastosowaniu twardościomierza FM 700 firmy Future-Tech, a także przeprowadzono symulację komputerową procesu krzepnięcia bimetalicznych odlewów warstwowych w programie NovaFlow&Solid.

3. Wyniki badań

Na podstawie przeprowadzonych nieniszczących badań ultradźwiękowych stwierdzono, że w przypadku bimetalicznych odlewów warstwowych ze staliwną częścią nośną, istnieje problem z uzyskaniem trwałego połączenia pomiędzy obiema częściami bimetalu na całej powierzchni ich styku. W związku z tym w odlewie o konfiguracji staliwna część nośna – warstwa robocza ze stali X2CrNi 18-9, występują obszary charakteryzujące się pełnym, częściowym (charakteryzującym się obecnością tzw. „bimetalicznych mostków łączących”, które opisano w pracy [14]) oraz brakiem połączenia obu tworzyw. Udział procentowy wymienionych rodzajów połączenia zależy przy stałej temperaturze zalewania staliwa od różnicy w stężeniu węgla pomiędzy tworzywem części nośnej a warstwy roboczej, co szczegółowo przedstawiono w pracach [15 i 16].

W związku z tym, z uwagi na znaczą różnicę w stężeniu węgla pomiędzy tworzywami składowymi bimetalu, problem braku ich połączenia nie dotyczy odlewów z żeliwną częścią nośną, gdyż na podstawie przeprowadzonych nieniszczących badań ultradźwiękowych stwierdzono, że na całej badanej powierzchni tego typu bimetalicznych odlewów warstwowych (głowica przyłożona od strony blachy) echo dna było większe od echa strefy przejścia, co wskazuje na uzyskanie trwałego połączenia pomiędzy częścią (warstwą) roboczą a częścią nośną.

Na rysunkach 2÷4 przedstawiono mikrostruktury obszaru połączenia stali stopowych chromowo-niklowych stanowiących warstwę roboczą odlewu bimetalowego z staliwną lub żeliwną częścią nośną. Na ukształtowanie mikrostruktury obszaru połączenia w tego typu bimetalicznych odlewach warstwowych wpływają przede wszystkim zjawiska dyfuzji węgla w kierunku od części nośnej do warstwy roboczej oraz nagrzania blachy stalowej do wysokiej temperatury, której źródłem jest ciekły metal (staliwo lub żeliwo) wlane do formy. Dla temperatury

zalewania żeliwa wynoszącej 1450°C, temperatura styku T_s na granicy ciekły metal – blacha stalowa wyznaczona w oparciu o zależność [17]:

$$T_s = \frac{\sqrt{\lambda_n \cdot c_n \cdot \rho_n \cdot T_n} + \sqrt{\lambda_r \cdot c_r \cdot \rho_r \cdot T_r}}{\sqrt{\lambda_n \cdot c_n \cdot \rho_n} + \sqrt{\lambda_r \cdot c_r \cdot \rho_r}} \quad (1)$$

gdzie:

λ_n, λ_r – współczynnik przewodności cieplnej odpowiednio dla ciekłego żeliwa lub staliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), W/(m·K),

c_n, c_r – ciepło właściwe odpowiednio dla ciekłego żeliwa lub staliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), J/(kg·K),

ρ_n, ρ_r – ciężar właściwy odpowiednio dla ciekłego żeliwa lub staliwa (część nośna odlewu) i blachy stalowej (część robocza odlewu), kg/m³,

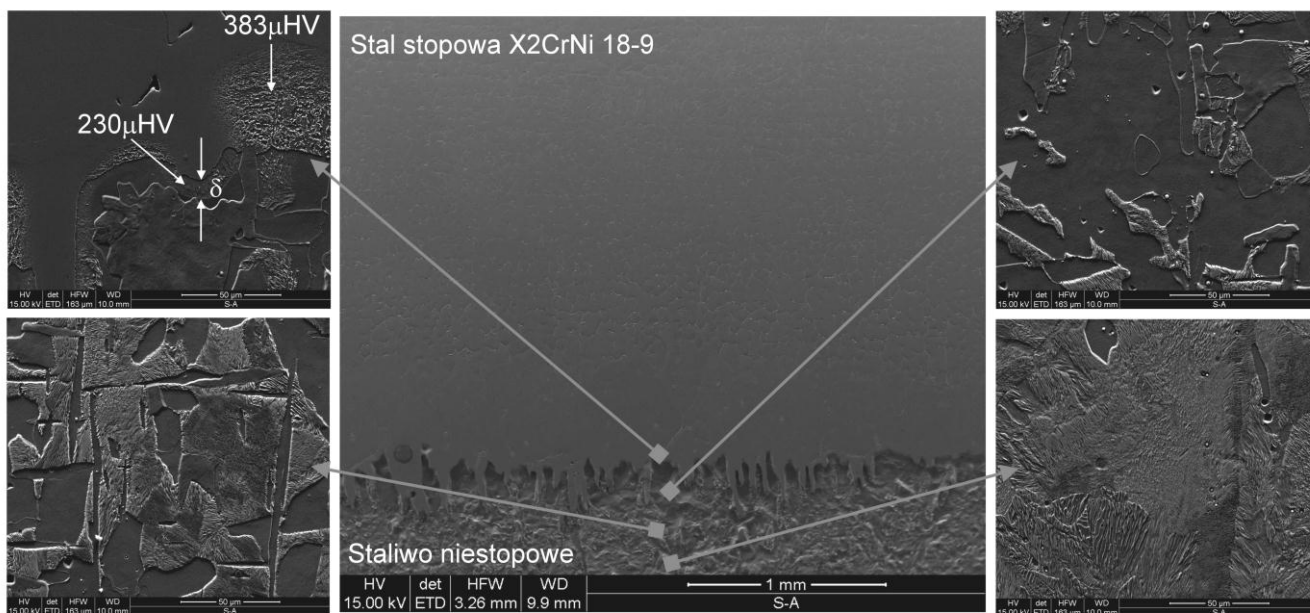
T_n – temperatura ciekłego żeliwa lub staliwa (część nośna odlewu), °C,

T_r – temperatura blachy stalowej (część robocza odlewu), °C, wynosi odpowiednio dla blachy ze stali X2CrNi 18-9 około 950°C oraz dla blachy ze stali X2CrNiMoN 22-5-3 około 940°C. Natomiast dla temperatury zalewania staliwa wynoszącej 1650°C, temperatura styku T_s na granicy ciekły metal – blacha stalowa X2CrNi 18-9 wyznaczona także w oparciu o zależność (1) wynosi około 1100°C. Ponadto na podstawie wyników symulacji komputerowej procesu krzepnięcia bimetalicznych odlewów

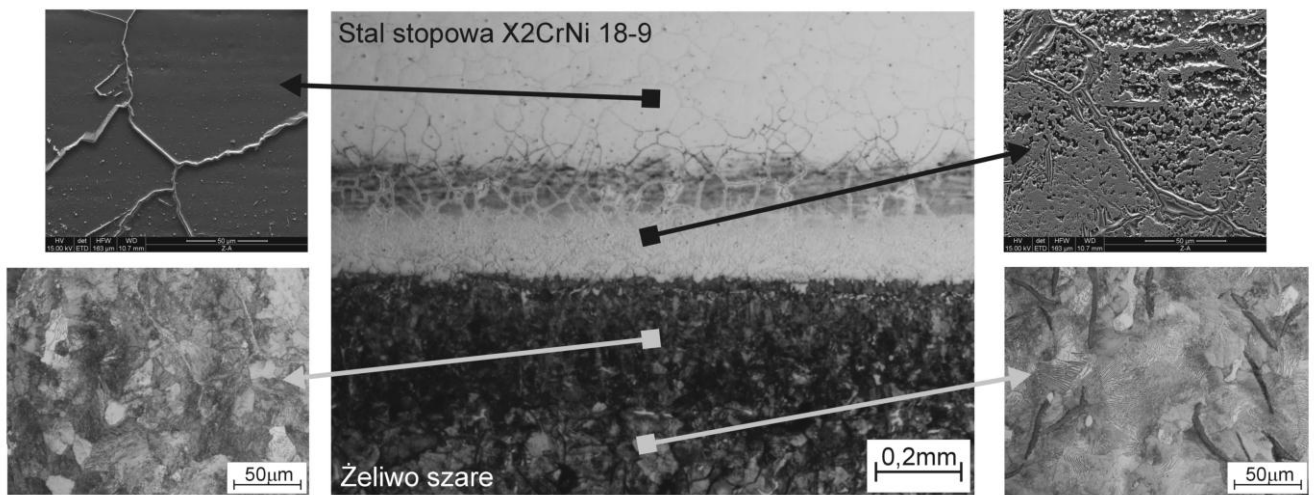
warstwowych stwierdzono, że po upływie około 100s od momentu zalania wnęki formy ciekłym żelwem lub staliwem temperatura nagrzania blachy ze stali X2CrNi 18-9 osiąga swoją wartość maksymalną tzn. odpowiednio około 1250 i 1450°C (Rys. 5).

W wyniku tego w przypadku odlewów ze staliwną częścią nośną utworzona zostaje perlityczna strefa przejściowa (δ) o twardości 230 μ HV, która łączy stal austenityczną ze staliwem ferrytyczno-perlitycznym (Rys.2). Ponadto w obszarze przygranicznym odwęgleniu ulega staliwo, co objawia się rosnącym udziałem ferrytu w stosunku do perlitu w kierunku do granicy połączenia obu tworzyw. Dodatkowo następuje nawęglenie przygranicznego obszaru blachy ze stali stopowej X2CrNi 18-9 i utworzenie w tej strefie mikrostruktury martenzytu o twardości około 380 μ HV. Obok nawęglenia tego przygranicznego obszaru stali X2CrNi 18-9, powstaniu martenzytu sprzyja również chłodzenie z wysokiej temperatury do jakiej nagrzana jest blacha.

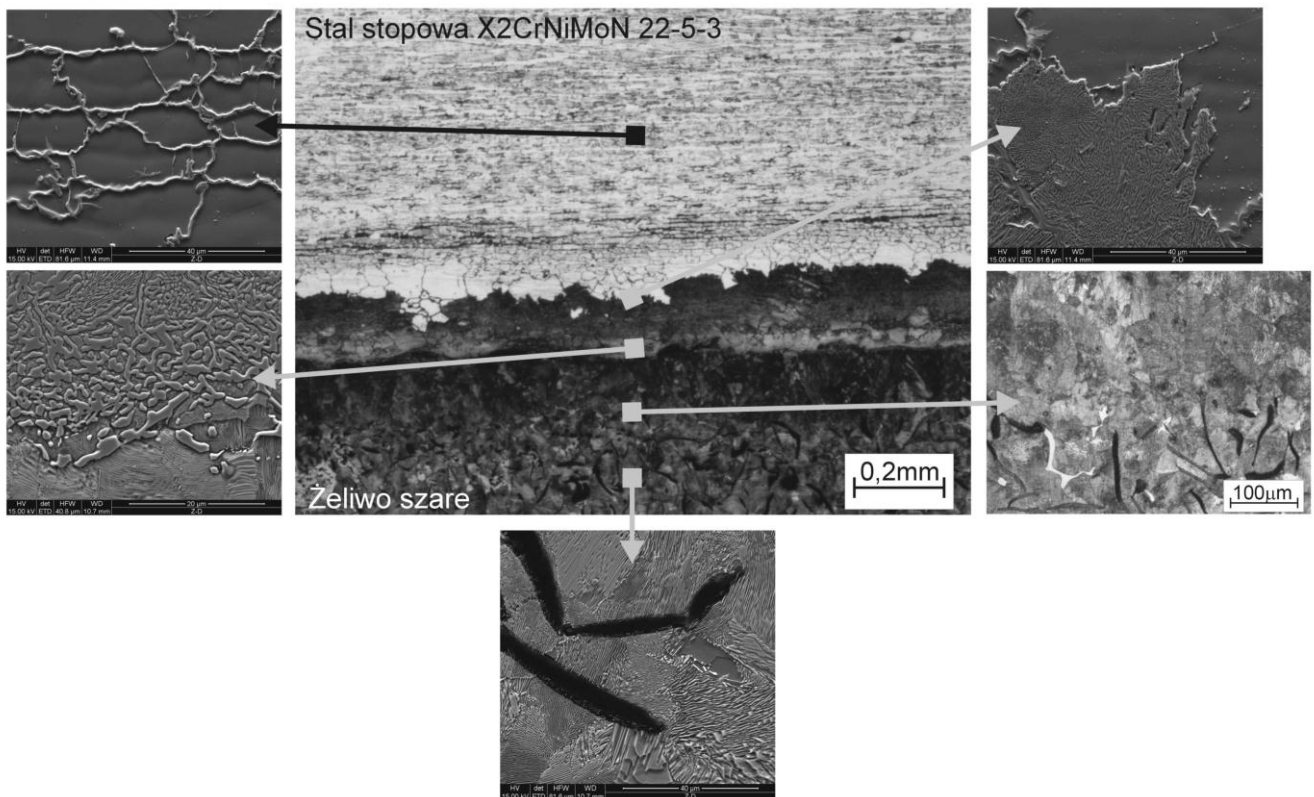
Natomiast w przypadku odlewów wykonanych w konfiguracji materiałowej warstwa robocza ze stali stopowej austenitycznej X2CrNi 18-9 (Rys.3) lub ferrytyczno-austenitycznej X2CrNiMoN 22-5-3 (Rys.4) - część nośna z żeliwa szarego perlitycznego, w obszarze połączenia obu tworzyw powstaje od stron stali tzn. strefy nawęglonej mikrostruktura składająca się z węglików Cr i Fe w osnowie ferrytyczno-austenitycznej w przypadku pierwszym lub w osnowie perlitycznej w przypadku drugim. Z kolei od strony żeliwa tzn. strefy odwęglonej ukształtowana zostaje mikrostruktura perlityczna bez grafitu.



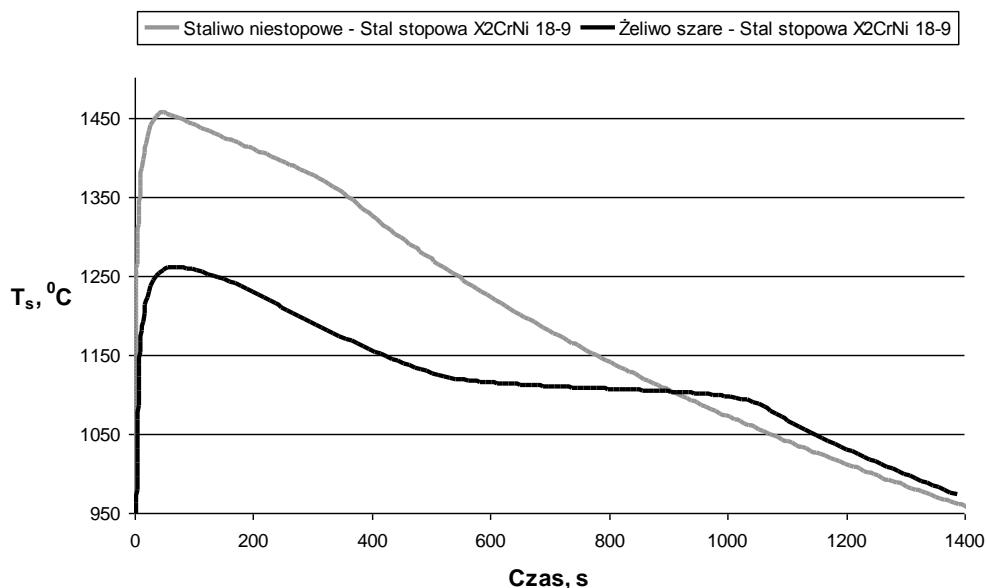
Rys. 2. Mikrostruktura bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X2CrNi 18-9 – część nośna ze staliwa niestopowego



Rys. 3. Mikrostruktura bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X2CrNi 18-9 – część nośna z żeliwa szarego



Rys. 4. Mikrostruktura bimetalicznego odlewu warstwowego w konfiguracji część (warstwa) robocza z blachy ze stali stopowej X2CrNiMoN 22-5-3 – część nośna z żeliwa szarego



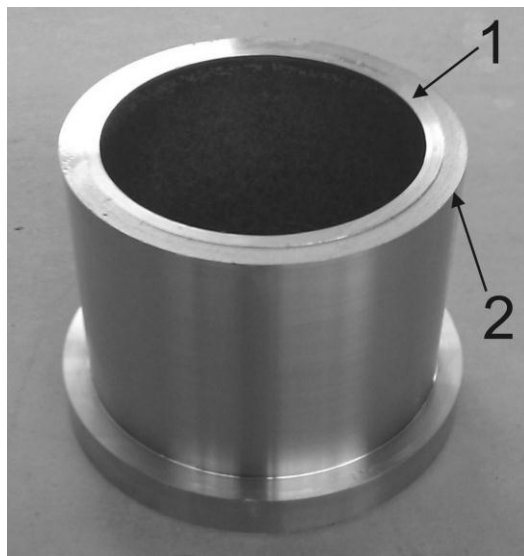
Rys. 5. Charakterystyka zmian w czasie temperatury styku T_s w geometrycznym środku blachy stalowej w bimetalicznym odlewie warstwowym w konfiguracji część nośna ze staliwa niestopowego lub żeliwa szarego – warstwa robocza ze stali stopowej X2CrNi 18-9

4. Podsumowanie

Technologia odlewnicza oparta na metodzie preparowania wnęki formy pozwala na otrzymanie bimetalicznych odlewów warstwowych w konfiguracji: część nośna z żeliwa szarego perlitycznego – część (warstwa) robocza ze stali stopowej chromowo-niklowej austenitycznej lub duplex ferrytyczno-austenitycznej, wolnych od wad szczególnie w niewrażliwym obszarze połączenia obu tworzyw. Natomiast w przypadku bimetalicznych odlewów warstwowych ze staliwną częścią nośną, uzyskanie trwałego połączenia pomiędzy obiema częściami wymaga zapewnienia właściwej przy określonym module krzepnięcia oraz temperaturze zalewania, różnicy w stężeniu węgla pomiędzy tworzywem części nośnej a warstwy roboczej.

Przewiduje się, że wykonane wg opracowanej technologii bimetaliczne odlewy warstwowe mogą pracować w warunkach wymagających od roboczej warstwy wierzchniej elementu, wysokiej żaroodporności i/lub odporności na korozję w środowisku np. wody przemysłowej. Ponadto w przypadku zastosowania na część (warstwę) roboczą stali chromowo-niklowej austenitycznej, możliwe jest uzyskanie także wysokiej odporności na zużycie ściernie, która jest wynikiem wzrostu twardości austenitu z około 200HV do około 400HV. Tego typu wzrost twardości, następujący w warunkach eksploatacji jest osiągnięty poprzez indukowaną odkształceniem plastycznym przemianę martenzytyczną $\gamma \rightarrow \alpha'$ [13 i 18].

W związku z tym w oparciu o opracowane wytyczne do przedstawionej metody wykonano technologicznie użyteczną bimetaliczną tuleję w konfiguracji wewnętrzna część (warstwa) robocza ze stali stopowej X2CrNi 18-9 – zewnętrzna część nośna ze staliwa niestopowego (Rys. 6), przeznaczoną do zastosowania w konstrukcji kombajnu górnego.



Rys. 6. Widok bimetalicznej tulei w konfiguracji: 1 - wewnętrzna część (warstwa) robocza ze stali stopowej X2CrNi 18-9, 2 - zewnętrzna część nośna ze staliwa niestopowego

Informacja dodatkowa

Praca naukowa finansowana ze środków budżetowych na naukę w latach 2010 - 2012 jako projekt badawczy N N508 585039.

Literatura

- [1] Marcinkowska J. & Kuszniar B. (1979). Cast coatings on machine elements. In Scientific Conference Cast Form of Machine Elements, (pp. 1-11). Olsztyn Poland. (in Polish).
- [2] Heijkoop T. & Sare I. (1989). Cast-bonding – a new process for manufacturing composite wear products. *Cast Metals*. 3, 160-168.
- [3] Gawroński J., Szajnar J. & Wróbel P. (2004). Study on theoretical bases of receiving composite alloy layers on surface of cast steel castings. *Journal of Materials Processing Technology*. 157–158, 679-682.
- [4] Szajnar J., Wróbel P. & Wróbel T. (2008). Model castings with composite surface layer – application. *Archives of Foundry Engineering*. 8 (SI3), 105-110.
- [5] Bartocha D., Suchoń J. & Jura S. (1998). Layer castings. *Solidification of Metals and Alloys*. 38, 151-156. (in Polish).
- [6] Cholewa M., Tenerowicz S. & Wróbel T. (2008). Quality of the joint between cast steel and cast iron in bimetallic castings. *Archives of Foundry Engineering*. 8 (3), 37-40.
- [7] Wróbel T. (2011). Ni and Cr base layers in bimetallic castings. In 20th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2011 (pp. 91). Brno Czech Republic.
- [8] Klimpel A. (2000). *Surfacing and thermal spraying. Technologies*. Warszawa: WNT. (in Polish).
- [9] Viala J., Peronnet M., Barbeau F., Bosselet F. & Bouix J. (2002). Interface chemistry in aluminium alloy castings reinforced with iron base inserts. *Composites: Part A*. 33, 1417-1420.
- [10] Pietrowski S. & Szymczak T. (2007). Model of the aluminising coating crystallization on iron alloys. *Archives of Foundry Engineering*. 7 (3), 123-128.
- [11] Pietrowski S. (2001). Structure of aluminising layer on the gray cast iron. *Archives of Foundry*. 4 (11), 95-104.
- [12] Cholewa M., Wróbel T. & Tenerowicz S. (2010). Bimetallic layer castings. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*. 43/1, 385-392.
- [13] Cholewa M., Wróbel T., Tenerowicz S. & Szuter T. (2010). Diffusion phenomena between alloy steel and gray cast iron in layered bimetallic casting. *Archives of Metallurgy and Materials*. 55 (3), 771-777.
- [14] Wróbel T., Cholewa M. & Tenerowicz S. (2011). Bimetallic layered castings alloy steel – carbon cast steel. *Archives of Foundry Engineering*. 11 (1), 105-107.
- [15] Wróbel T. (2012). The quality of the joint between alloy steel and unalloyed cast steel in bimetallic layered castings. *Archives of Foundry Engineering*. 12 (1), 119-124.
- [16] Wróbel T. & Cholewa M. (2012). The influence of selected cast parameters on quality of joint in layered castings. *Archives of Foundry Engineering*. 12 (2), 105-110.
- [17] Taler J. & Duda P. (2006). *Solving direct and inverse heat conduction problems*. Berlin: Springer-Verlag.
- [18] Adamczyk J. (2004). *Engineering of metallic materials*. Gliwice: Publishers of Silesian University of Technology. (in Polish).

Bimetallic castings with chromium-nickel working layer

Abstract

In paper is presented technology of bimetallic layered castings based on founding method of layer coating directly in cast process so-called method of mould cavity preparation. Prepared castings consist two fundamental parts i.e. bearing part and working part (layer). The bearing part of bimetallic layered casting is typical foundry material i.e. unalloyed cast steel or grey cast iron with flake graphite, whereas working part is plate of austenitic alloy steel sort X2CrNi 18-9 or ferritic-austenitic alloy steel sort X2CrNiMoN 22-5-3. The quality of the joint in bimetallic layered castings was evaluated on the basis of ultrasonic non-destructive testing, structure and microhardness researches. Moreover was made computer simulation of solidification of bimetallic layered casting with use of NovaFlow&Solid software.

Keywords: Bimetallic layered casting, Cast steel, Cast iron, Steel, Chromium, Nickel,